

**DISPOSICIÓN A PAGAR POR AHORROS EN EL TIEMPO DE VIAJE DEL
TRANSPORTE DE CARGA EN MEDELLÍN**

Eneida Paulina Cabas Torres
C.C. No. 1.140.876.243



UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

Programa de Ingeniería Civil.

Barranquilla-Atlántico

2017

**DISPOSICIÓN A PAGAR POR AHORROS EN EL TIEMPO DE VIAJE DEL
TRANSPORTE DE CARGA EN MEDELLÍN**

Autor:

Eneida Paulina Cabas Torres
C.C. No. 1.140.876.243

Tutor:

Ing. Msc. Iván Serrano. Docente Tiempo Completo. Facultad de Ingeniería Civil.

Cotutor:

Ing. Msc. Abraham Castañeda. Docente Tiempo Completo. Facultad de Ingeniería Civil.

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

Programa de Ingeniería Civil.

Barranquilla-Atlántico

2017

Nota de Aceptación:

Evaluador 1.

Evaluador 2.

Dedicatoria

Quiero hacerle una dedicatoria primeramente a Dios, por siempre acompañarme a lo largo de mi vida y llenarme de sabiduría y virtudes para poder cumplir mis metas y sueños llegando hasta este punto tan importante de mi formación personal.

A mis padres, por fundamentar mi formación personal bajo un ambiente familiar fraterno y armonioso. Lo cual, me permite actualmente ser un profesional integro, con excelentes cualidades y virtudes.

A mis compañeros y amigos de la Universidad, de cada uno de ellos aprendí un poco y por compartir bonitas experiencias de vida a lo largo de nuestros estudios.

A mi director de Tesis, Iván Serrano, por depositar su confianza en mí para realizar este trabajo con éxito.

Finalmente, a todas aquellas personas que directa o indirectamente permitieron la formulación, realización y ejecución de este proyecto de investigación.

Eneida Paulina Cabas Torres.

Agradecimientos

Agradezco de manera muy especial al Dios todo poderoso por brindarme el conocimiento y capacidad de discernimiento necesaria para consolidar la sapiencia impartida durante mi proceso de formación académica. Así mismo, le doy gracias por permitir culminar este trabajo de investigación el cual, surge como producto esfuerzo y dedicación continua; y la de todos aquellos que día a día me brindaron su cooperación y respaldo, haciendo la culminación de este posible.

En este mismo orden, agradezco a mí director de tesis: Ing. Iván Serrano, no solo por su orientación y asesoría académica, sino también por darme la oportunidad de atesorar nuestro crecimiento profesional y personal a través de la realización y desarrollo del presente.

Finalmente, agradezco a mis padres, hermanos, amigos y todos aquellos que son importantes para mí, pues gracias a su apoyo incondicional y entusiasta pude finalizar de manera muy satisfactoria uno de mis mayores objetivos académicos.

Eneida Paulina Cabas Torres

Resumen

En este trabajo se analiza la sensibilidad de los valores subjetivos del tiempo de viaje (VSTV) a los supuestos adoptados sobre las preferencias de los usuarios, para ello se consideraron modelos de elección discreta, a través de la realización de encuestas que permiten captar la heterogeneidad de las preferencias de los usuarios que transitan por la vía evaluada, teniendo en cuenta el tiempo de viaje introduciendo tanto interacciones entre características observadas de los individuos, teniendo en cuenta sus tipos de ejes y atributos de los modos de transporte como parámetros aleatorios. Los resultados muestran que una parte de la variación del VSTV viene explicada por el tipo de transporte en este caso automóviles particulares o transporte de carga teniendo en cuenta su tipo de eje, mientras que la variación restante es de carácter aleatorio; La evidencia empírica sugiere, además, que los VSTV tienden a subestimarse cuando se impone homogeneidad de las preferencias. Sin embargo, de la discusión teórica de los modelos y de la evidencia empírica existente se desprende que este resultado no es general.

Palabras clave: Valor Subjetivo del Tiempo, Modelos de Elección Discreta, Encuestas, Tipos de Ejes.

Abstract

In this work was discussed the sensibility of the Subjective Values of the Transit Time (SVTT) versus the preferences undertaken by users, this work was made with Discreet Election Models, making polls which could get the heterogeneity of the preferences of the users whom go by the evaluated way, taking into account the number of axles and the target of the ways of transportation as random parameters. The outcomes shows that an amount of the variation of the SVTT is explained by the types of transportation, in this case by the private cars or single and multi-trailers in accordance with theirs axles, meanwhile the remaining is random; The empirical proof argue that the SVTT goes to be undervalued when the preferences are laid down uniformity. However, this outcome is not always the same based in the argumentation of the theoretical models and empirical evidence known.

Keyword: Subjective Values of the Transit Time (SVTT), Discreet Election Models, Polls, Number of Axles.

Contenido

| | |
|--|----|
| Lista de tablas y figuras | 10 |
| Introducción | 11 |
| Capítulo I | |
| 1. Objetivos..... | 14 |
| 1.1. Objetivo general | 14 |
| 1.2. Objetivos específicos | 14 |
| 2. Hipótesis | 15 |
| 3. Contribuciones..... | 16 |
| Capítulo II | |
| 4. Marco teórico..... | 17 |
| 4.1. Marco conceptual | 17 |
| 4.2. Modelos de elección discreta..... | 18 |
| 4.2.1. Logit Multinomial (MNL) | 22 |
| 4.2.2. Valor subjetivo del tiempo..... | 22 |
| 5. Antecedentes locales..... | 25 |
| 6. Antecedentes..... | 32 |
| Capítulo III | |
| 7. Recolección y tratamiento de la información | 36 |
| 7.1. Determinación de la disposición a pagar por ahorros en tiempo de viaje..... | 36 |
| 7.1.1. Acopio de información | 36 |
| 7.1.2. Datos de preferencias declaradas | 37 |
| 7.1.3. Instrumento de acopio de datos | 39 |
| 7.1.4. Procesamiento de la información..... | 41 |
| 8. Especificación y resultados de los modelos | 43 |
| 8.1. Modelo logit multinomial | 43 |
| 8.2. Estimación de modelos y análisis de resultados..... | 46 |
| 8.3. Resultados de la estimación de modelos | 46 |
| 8.4. Tasas marginales de sustitución: valor subjetivo del tiempo | 47 |

Reflexiones finales y conclusiones

| | | |
|-------|--|----|
| 9. | Conclusiones..... | 51 |
| 10. | Referencias | 52 |
| 11. | Anexos..... | 56 |
| 11.1. | Anexo 1. tarjeta para Autos | 56 |
| 11.2. | Anexo 2. tarjeta para camiones C2 – C4 | 57 |
| 11.3. | Anexo 3. tarjeta Para camiones tipo C5 – C6..... | 58 |
| 11.4. | Anexo 4. mapa comparación vía actual vs vía propuesta..... | 59 |

Lista de tablas y figuras**Tablas**

| | |
|--|----|
| Tabla 1. VST por categoría vehicular | 24 |
| Tabla 2. Procesamiento de información..... | 42 |
| Tabla 3. Resultados de estimaciones de parámetros de los modelos | 46 |
| Tabla 4. Tasas marginales de sustitución..... | 48 |
| Tabla 5. VSTM por categoría vehicular según MLN4 | 49 |
| Tabla 6. VST por categoría vehicular | 50 |

Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Rutas en evaluación..... | 37 |
| Figura 2. Instrumento | 38 |
| Figura 3. Toma de encuestas..... | 39 |
| Figura 4. Toma de encuestas..... | 39 |
| Figura 5. Procesamiento de Información. | 42 |

Introducción

Dependiendo de la naturaleza de los datos, la demanda del transporte de carga puede ser analizada utilizando dos enfoques diferentes. En este sentido (**Winston, 1983**)¹ divide los modelos en agregados y desagregados. En el caso de los modelos agregados la unidad básica de observación es la cuota de mercado, mientras que para el caso de los modelos desagregados la unidad de observación es la elección del tomador de decisiones. Desde una perspectiva teórica, los modelos desagregados son más atractivos que los modelos agregados, ya que tienen mejores especificaciones empíricas y proporcionar una mayor comprensión de la competencia intermodal (**García - Menéndez, 2009**)²

Los modelos desagregados se han clasificado en modelos de inventario y de comportamiento; si bien ambos enfoques recopilan información sobre el comportamiento de las partes interesadas, la diferencia radica en quién toma la decisión (**Regan, 2001**)³. En el caso de los modelos de inventarios la elección del modo de transporte se considera otra decisión del proceso productivo de la empresa, en la que el objetivo último es maximizar las ganancias, en este sentido la demanda de transporte de carga se analiza desde el punto de vista de la persona a cargo de inventario. Por su parte, los modelos de comportamiento del transporte de carga se basan en la teoría de la utilidad aleatoria. En este sentido los tomadores de decisiones se enfrentan a un

¹ **Winston, C. (1983)**. The demand for freight transportation: models and applications. *Transportation Research Part A: General*, 17(6), 419-427.

² **García - Menéndez, L., & Feo- Valero, M., (2009)**, European Common Transport Policy and Short-Sea Shipping: Empirical Evidence Based on Modal Choice Models. *Transport reviews*, 29(2), 239-259.

³ **Regan, A. C., & Garrido, R. A. (2001)**. Modelling freight demand and shipper behaviour: state of the art, future directions. *Travel Behaviour Research*. Pergamon-Elsevier Science, Amsterdam.

problema de maximización de la utilidad, en el cual consideran el costo y la calidad del servicio resultante de la utilización de un modo determinado (*Feo-Valero, 2011*)⁴

Los modelos de elección discreta tienen como fundamento la Teoría de la Utilidad Aleatoria (TUA) (*McFadden & Domencich, 1975*).⁵ Estos modelos cuentan con una sólida base microeconómica y han sido desarrollados para describir el comportamiento del tomador de decisiones ante la escogencia entre diferentes alternativas mutuamente excluyentes. Estableciéndose así, como una de las principales herramientas para modelar la demanda de transporte, ya que proporcionan una manera de valorar las decisiones tomadas y estimar parámetros que, dadas las hipótesis formuladas pueden proporcionar información económica correcta y relevante como el valor subjetivo del tiempo (VST). El VST se define como la tasa marginal de sustitución entre el costo y el tiempo percibido a una utilidad constante. Este valor cobra particular importancia porque facilita la evaluación de proyectos de transporte y la implementación de nuevas políticas públicas, permitiendo estimar los beneficios económicos del ahorro en el tiempo de viaje así como mejoras en la infraestructura.

Muchos econométricos han estudiado este concepto, sin embargo, solo recientemente se ha aplicado al transporte de carga, es decir, el valor subjetivo del tiempo de mercancía (VSTM) (*Zamparini, 2007*)⁶. Por lo que existe una brecha considerable entre el número de estudios del VST para el transporte de pasajeros y el de mercancías.

⁴ **Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., & Garrido-Hidalgo, R. (2011).** Valuing freight transport time using transport demand modelling: a bibliographical review. *Transport Reviews*, 31(5), 625-651.

⁵ **McFadden, D., & Domencich, T. (1975).** *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*. Amsterdam, Holanda.

⁶ **Zamparini, L., & Reggiani, A. (2007).** Freight Transport and the Value of Travel Time Savings: A Meta-analysis of Empirical Studies. *Transport Reviews*, 27(5), 621-636.

Mediante la aplicación de técnicas econométricas la presente investigación aplica modelos de elección discreta, para estimar el valor subjetivo del tiempo del transporte terrestre de carga en Medellín - Colombia. Para ello se consideran diferentes enfoques y se evaluarán los atributos inherentes al transporte terrestre de mercancía que resultan relevantes para el caso colombiano, dada la heterogeneidad de los flujos y segmentación de la muestra. Uno de los aportes más significativos del presente estudio es capturar la heterogeneidad del VSTM según la tipología vehicular, obteniendo una medida más desagregada de la disposición a pagar. El documento se organiza de la siguiente manera: El capítulo 2 presenta una revisión bibliográfica de los aspectos econométricos y metodológicos usados en la estimación del VST, El capítulo 3 hace referencia al procedimiento de recolección de datos, así como estadísticas descriptivas de la muestra. El capítulo 4 expone la formulación y especificación de los modelos propuestos, se analizan los resultados y se analiza la influencia en la disposición a pagar de atributos como el tipo de vehículo. Finalmente, en el capítulo 5 se consignan las conclusiones y aportes más importantes de este estudio.

1. Objetivos

1.1.Objetivo general

La presente investigación busca estimar el valor subjetivo del tiempo del transporte terrestre de carga en Medellín - Colombia, a través de técnicas econométricas aplicando modelos de elección discreta mediante el enfoque de estimación clásica por máxima verosimilitud.

1.2.Objetivos específicos

- Establecer una visión general del estado actual de la investigación y la práctica en los estudios econométricos utilizados para estimar el valor subjetivo del tiempo de transporte terrestre de carga.
- Diseñar los instrumentos para la toma de información, a fin de consolidar una base de datos.
- Aplicar el modelo clásico de máxima verosimilitud para evaluar el valor subjetivo del tiempo, mediante la utilización de datos de preferencias declaradas.
- Considerar variaciones individuales sistemáticas en la estimación del valor subjetivo del tiempo.

2. Hipótesis

La hipótesis de trabajo en la cual se fundamenta esta investigación, supone para el caso del transporte terrestre de carga, la valoración del tiempo es heterogénea y dependerá de variables tales como el tipo de vehículo (número de ejes) y la distancia recorrida.

3. Contribuciones

Las principales contribuciones de esta tesis es aportar la disposición a pagar por reducir el tiempo de viaje en el transporte de mercancías en el contexto local de la ciudad de Medellín-Colombia. El cálculo del VST es útil para la evaluación de beneficios de proyectos de transporte gracias al ahorro del tiempo de viaje y mejoras en la infraestructura vial. Una medida más desagregada del VSTM, según la tipología vehicular, proporcionará medidas más precisas de los beneficios económicos derivados de proyectos logísticos de carga por el ahorro del tiempo.

4. Marco teórico

4.1.Marco conceptual

El cálculo del valor del tiempo es un tema de gran interés, ya que tiene diferentes aplicaciones en la estimación de indicadores para la toma de decisión. Al igual que establece una relación entre el costo y el tiempo, de modo que se logra analizar ambas variables en una sola unidad, simplificando su inclusión en modelos matemáticos.

El tiempo es un recurso finito que no puede ser almacenado como el dinero, solo puede realizarse una distribución del mismo entre las actividades que se plantean, permitiendo transferencia entre cada una de ellas de modo que se maximice la utilidad del usuario.

Un individuo asigna un valor subjetivo a cada actividad, es decir que aquellas acciones que le resulten más satisfactorias o de mayor utilidad les dedicará una mayor cantidad de tiempo, lo cual puede ser medido en términos monetarios. Por tanto, una persona cuyo valor del tiempo es bajo preferirá realizar un viaje con una tarifa más baja, aunque tome una gran cantidad de tiempo, mientras que una persona con valor del tiempo alto escogerá por una opción que reduzca el tiempo de viaje, aunque sea más costoso.

Para la obtención de este, se han desarrollado ciertas metodologías soportadas en análisis microeconómicos (Jara Díaz, 2007)⁷. Es práctica usual que el cálculo de este parámetro se realice a partir de los modelos de elección discreta.

⁷ **Jara Díaz, S.** (2007). Transport Economic Theory. Elsevier.

4.2. Modelos de elección discreta

La estimación de los modelos de elecciones discretas, usualmente se realiza con base en la Teoría de Utilidad Aleatoria, que establece los siguientes supuestos (**McFadden & Domencich, 1975**)⁸ (**Williams & Senior, 1977**):⁹

Existe un conjunto de alternativas disponibles: “A”, tal que $A = \{A_1, A_2, A_j, A_N\}$, y una población homogénea, racional: “Q”, que posee información perfecta acerca de las alternativas “A” y se establece un grupo de vectores de atributos de las alternativas y los individuos “X”.

En este sentido, cada individuo “q” asocia una utilidad U_{jq} a cada alternativa A_j , a partir de la valoración de los atributos que componen dicha alternativa. No obstante, existen dos puntos de vista: el del individuo que pondera todos los elementos de cada alternativa disponible y establece una utilidad en cada caso, con lo que determina la mejor opción y el del modelador que observa el comportamiento de los individuos, obteniendo algunos elementos que influyen en la toma de decisión, pero no todos ellos.

Es así como el modelador especifica una función de utilidad sistemática o representativa V_{jq} , tal como se expresa en la Ecuación 4.1, que integra los elementos medibles y sistemáticos.

$$V_{jq} = \alpha + \sum_k \theta_{kj} \cdot X_{jkq} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

⁸ **McFadden, D., & Domencich, T. (1975).** Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis. Amsterdam, Holanda.

⁹ **Williams, H., & Senior, M. L. (1977).** Model based transport policy assessment: (2) removing fundamental inconsistencies from the models. Traffic Engineering and Control, 464 - 469.

Donde α es la constante específica y se recogen de manera agregada el efecto de las variables no agregadas y θ es el ponderador del atributo y se asume constante para todos los individuos, pero no necesariamente para todas las alternativas.

La estimación de la utilidad U_{jq} , agrega a la función V_{jq} , un error aleatorio ε_{jq} que abarca todos los atributos no medibles, que incluye la idiosincrasia y las preferencias particulares de los individuos (ver Ecuación 4.2) no capturados en la función de utilidad sistemática.

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Para la aplicación de esta teoría se requiere que se establezca cierta homogeneidad en la población de estudio y que todos los individuos tengan las mismas alternativas disponibles, con las mismas características (*Williams & Ortuzar, 1982a*)¹⁰.

Bajo esta perspectiva, cada usuario escogerá la alternativa que máxime su utilidad, por tanto, un individuo q elegirá la alternativa A_j si y solo si:

$$U_{jq} \geq U_{iq}, \forall A_i \in A_q \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Lo que indica que:

$$V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Debido a que se desconoce los valores de error y por tanto su diferencia, no se logra determinar si la Ecuación 4.4 es realmente cierta, por lo que solo se puede establecer la probabilidad de escoger A_j , como se formula en la Ecuación 4.5.

$$P_{jq} = Prob \{ \varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}), \forall A_i \in A_q \} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Si $f(\varepsilon) = f(\varepsilon_1 \dots \varepsilon_N)$ es la función distribución de las variables aleatorias, se tiene:

¹⁰ **Williams, H., & Ortuzar, J. d. (1982a).** Behavioural theories of dispersion and the mis-specification of travel demands models. *Transportation research*, 167 -219.

$$P_{jq} = \int_{\varepsilon_{jq}=-\infty}^{\infty} \int_{\varepsilon_{iq}=-\infty}^{V_{iq}-V_{Nq}+\varepsilon_{jq}} \dots \int_{\varepsilon_{iq}=-\infty}^{V_{iq}-V_{Nq}+\varepsilon_{jq}} f(\varepsilon_{1q}, \varepsilon_{2q}, \dots, \varepsilon_{Nq}) d_{\varepsilon_{1q}} \dots d_{\varepsilon_{Nq}} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Nótese que la probabilidad de elección es una integral multidimensional sobre la distribución de la parte no observada de la función de utilidad. Es importante señalar que pueden obtenerse diferentes modelos dependiendo de los supuestos sobre la distribución de los ε (errores aleatorios). Así, por ejemplo si los errores se distribuyen de forma independiente e idéntica (IID) de acuerdo a la distribución de Gumbel con media cero y varianza σ^2 , la probabilidad de elección está dada por la Ecuación 4.7.

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jq})} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Dicha función de probabilidad corresponde al modelo Logit Simple o Multinomial (MNL), donde β es un parámetro de escala relacionado con la desviación estándar común de la variable Gumble mediante la Ecuación 4.8.

$$\beta^2 = \frac{\pi^2}{6\sigma^2} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

No obstante, en la práctica este parámetro se estima de manera conjunta con el parámetro θ , por lo que usualmente se asume $\beta=1$.

Con el modelo calibrado se puede construir la función de log – verosimilitud, dada por la Ecuación 4.9.

$$l(\theta) = \sum_{q=1}^Q \sum_{A_j \in A(q)} g_{iq} \log(P_{iq}) \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Donde g_{iq} es uno si el individuo “q” escoge la alternativa A_i y cero si no, por tanto existe un conjunto de estimadores θ^* , cuya estimación indica el comportamiento esperado de la mayoría de la población estudiada, por tanto al maximizar la función de verosimilitud se obtiene el

conjunto de estimadores verosímiles θ^* , que distribuyen asintóticamente $N(\theta, S^2)$ (*Ortúzar & Willumsen, 2006*)¹¹, tal como se aprecia en la Ecuación 4.10.

$$S^2 = - \left[E \left(\frac{\delta^2 l(\theta)}{\delta \theta^2} \right) \right]^{-1} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Esta expresión es válida siempre y cuando las alternativas sean excluyentes y haya ortogonalidad entre ellas. En caso que exista correlación entre las alternativas un modelo anidado o jerárquico son más apropiados (*Williams & Senior, 1977*).¹²

Así mismo la función $LR = -2l(\theta)$ distribuye asintóticamente χ^2 con Q grados de libertad (*Ben-Akiva & Lerman, 1985*)^{13 14}. Por tanto, a pesar que haya un sesgo de θ^* por muestras pequeñas, es poco relevante para muestras suficientemente grandes, es decir que muestras entre 500 y 1000 observaciones son apropiadas (*Ortúzar & Willumsen, 2006*).

Una vez calibrado el modelo se realizan varias pruebas, que permiten revisar la consistencia del modelo. La primera es la prueba del signo, que corresponde a determinar si cada parámetro θ^* hallado tiene el signo esperado dependiendo de la variable que multiplica. Por ejemplo, se intuye que características como el costo de viaje, el tiempo de viaje o el tiempo de espera entre mayor sea su valor, menor sea la disposición a pagar, por tanto, el parámetro multiplicador debería ser negativo, así mismo variables como frecuencia o capacidad de los vehículos de

¹¹ **Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2006).** Modelling Transport. Jhon Wiley & Son.

¹² **Williams, H., & Senior, M. L. (1977).** Model based transport policy assessment: (2) removing fundamental inconsistencies from the models. Traffic Engineering and Control, 464 - 469.

¹³ **Ben-Akiva, M., & Lerman, S. (1985).** Discrete Choice Analysis. London, England: The MIT.

¹⁴ **Ben-Akiva, M., & Lerman, S. (1985).** Discrete choice analysis: theory and application to travel demand. Cambridge. Mass.: The MIT Press

servicio produzcan mayor número de viajes conforme su valor sea más alto, por lo que el parámetro será positivo.

Adicionalmente se realiza el test t de significancia (ver Ecuación 4.11), que indica si la variable evaluada genera impacto considerable en la toma de decisión de los individuos. Esta evaluación se realiza a partir del parámetro θ_k^* y su varianza $\{S_{kk}^2\}$, que fue estimada durante la calibración.

$$t = \frac{\theta_k^*}{S_{kk}} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

La Ecuación 4.11 tiene una distribución Normal estándar $N(0,1)$, por lo que es posible comprobar que θ_k es diferente de cero y por tanto aceptar que el k-ésimo atributo tiene un efecto significativo, al obtener valores de t mayores 1,96, con un nivel de confianza de 95%.

4.2.1. Logit Multinomial (MNL)

El Logit Multinomial es el modelo de elección discreta más sencillo, cuya expresión matemática corresponde a la mostrada en la Ecuación 4.7, aceptando que los residuos aleatorios de la

Ecuación 4.2

distribuyen Gumble IID (*McFadden & Domencich, 1975*).¹⁵

4.2.2. Valor subjetivo del tiempo

De manera tradicional la obtención del Valor Subjetivo del Tiempo (VST) se realiza a partir de modelos que consideran la homogeneidad de los gustos(ver Ecuación 2.12), como es el caso de los modelos Logit Multinomial, en el cual se obtiene a partir de la

Ecuación 4.12

¹⁵ **McFadden, D., & Domencich, T. (1975).** Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis. Amsterdam, Holanda.

$$VST = \frac{\partial V_{iq} / \partial T_{iq}}{\partial V_{iq} / \partial C_{iq}} = \frac{\theta_{Tq}}{\theta_{Cq}} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

No obstante, es de esperar que el valor del tiempo varíe de acuerdo a las preferencias de los individuos, por lo que con modelos que implican homogeneidad en los gustos suele haber un desfase de acuerdo al valor del tiempo de los individuos, debido a la fuerte restricción asociada.

Paralelamente, se han desarrollado modelos que involucran variaciones en los gustos de la población, como en los modelos Logit Mixto, que calculan el valor del tiempo a partir de dos enfoques distintos, el primero consiste en calcular el valor del tiempo en cada escenario simulado y obtener información completa de la distribución, el cual da mayor información, mientras que el segundo constituye una simplificación donde solo se utiliza la media y la desviación estándar.

El VST en el transporte de mercancías o carga (VSTM) se ha definido como la utilidad marginal o la reducción marginal del costo que se genera a partir de una reducción en el tiempo necesario para transportar la carga desde un origen a un destino (*Dullaert, 2013*)¹⁶ De acuerdo a estudios realizados en otros Países como Canadá y Estados Unidos de América se ha encontrado que el valor del tiempo varía entre 0,6 a 3,5 USD/ton/h (*Rich, 2009*)¹⁷.

Algunas investigaciones a nivel local se cita el producto de investigación presentado en el Congreso Internacional de Transporte y Transito de Junio del 2017, llamado “*Modelos de elección discreta para estimar el Valor Subjetivo del Tiempo capturando heterogeneidad en el transporte*”

¹⁶ **Dullaert, W., & Zamparini, L. (2013).** The impact of lead time reliability in freight transport: A logistics assessment of transport economics findings. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 190-200.

¹⁷ **Rich, J., Holmblad, P. M., & Hansen, C. O. (2009).** A weighted logit freight mode-choice model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 1006-1019.

de mercancías”, obteniendo valores, como se reporta en la tabla 5, para los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca (*Callejas, Serrano, Cantillo & Cantillo, 2017*)¹⁸

Tabla 1

VST por categoría vehicular

| Categoría de vehículo | VSTM (COP\$/min) |
|----------------------------------|-----------------------------|
| C2C3 | \$306 |
| C4C5 | \$543 |
| >C6 | \$893 |

Nota: Modelos de elección discreta para estimar el Valor Subjetivo del Tiempo capturando heterogeneidad en el transporte de mercancías.

Por, Callejas, Serrano, Cantillo & Cantillo, 2017

¹⁸ **Callejas, Serrano, Cantillo & Cantillo** producto de investigación presentado en el Congreso Internacional de Transporte y Transito de Junio del 2017 - Modelos de elección discreta para estimar el Valor Subjetivo del Tiempo capturando heterogeneidad en el transporte de mercancías

5. Antecedentes locales

Uno de los costos más grandes del transporte es el tiempo, por lo que los ahorros en los tiempos de viaje son usualmente los beneficios potenciales más importantes provenientes de una mejora en el transporte: “en los países desarrollados, estos beneficios pueden representar hasta un 80% de los beneficios totales” (I.T. Transport, 2002).

Los costos del tiempo de viaje varían mucho dependiendo de factores como el tipo de viaje, el tipo de viajero y las condiciones de viaje. A pesar de que una parte del tiempo de viaje tiene costos nulos o incluso negativos (la gente está dispuesta a gastar cierto tiempo viajado), la mayor parte del tiempo de viaje representa un costo. Tenemos que, bajo ciertas circunstancias, los costos del tiempo de viaje pueden ser muy altos, por ejemplo, cuando se trata de una emergencia.

Valor Subjetivo del Tiempo (VST) ha sido uno de los temas más estudiados en la economía. Sin embargo, el área de investigación en el que se realiza la estimación VSTM es relativamente nueva en comparación con los VST en el transporte de pasajeros (*Bergkvist, 2001*)¹⁹

Las estimaciones empíricas del VSTM han arrojado una variación notable en los resultados, lo cual es comprensible dado el número de variables que pueden influir en su valor (*Zamparini, L., & Reggiani, A., 2007*)²⁰. Así mismo, las diferencias metodológicas aplicadas a la toma de información y a su estimación pueden ser responsables en gran medida de la variedad de respuestas de la demanda, así como las estimaciones de valor de tiempo (*Rich, 2009*).²¹

¹⁹ **Bergkvist, E. (2001)** Bergkvist, E. (2001). The value of time and forecasting of flows in freight transportation. European Regional Science Association. <http://ideas.Repec.Org/p/www/wiwsa/ersa01p271>.

²⁰ **Zamparini, L., & Reggiani, A. (2007)**. Freight Transport and the Value of Travel Time Savings: A Meta-analysis of Empirical Studies. *Transport Reviews*, 27(5), 621-636.

²¹ **Rich, J., Holmblad, P. M., & Hansen, C. O. (2009)**. A weighted logit freight mode-choice model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 1006-1019.

Un aspecto fundamental en el análisis de transporte de mercancía es la heterogeneidad que se presenta en los flujos, donde intervienen diversos factores tales como el modo, la región geográfica en la que se realizó el estudio, los productos transportados, el valor de la carga, la distancia de la expedición, etc. (*Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., & Garrido-Hidalgo, R., (2011)*)²² Incluso se produce heterogeneidad no sólo entre los distintos tipos de bienes, sino también dentro de una rama específica, en este sentido por ejemplo el transporte de pescado fresco dar lugar a un VSTM más alto que el del pescado congelado, a pesar que ambos son pescado (*Bergkvist, 2001*)²³

Uno de los temas críticos cuando se modela la demanda de transporte de mercancías es identificar quien toma las decisiones. En el transporte de pasajeros la decisión corresponde solo al usuario del servicio. Mientras que en el transporte de carga intervienen varios actores económicos, los cuales podrán decidir sobre el viaje (remitente, destinatario, transportista, operador del vehículo, etc.), por tanto, es difícil identificar el agente encargado de la toma de decisiones y el beneficiario directo de la ganancia de tiempo (*De Jong G. , 2000*)²⁴.

En este sentido (*Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., & Garrido-Hidalgo, R., (2011)*)²⁵ establece dos categorías de agentes decisorios, la primera corresponde a los agentes de carga cuya actividad principal está relacionada directamente con el transporte o gestión de la mercancía, es decir transportistas, transitarios, etc. La segunda categoría hace referencia a las

²² **Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., & Garrido-Hidalgo, R.** (2011). Valuing freight transport time using transport demand modelling: a bibliographical review. *Transport Reviews*, 31(5), 625-651.

²³ **Bergkvist, E.** (2001). The value of time and forecasting of flows in freight transportation. European Regional Science Association, <http://ideas.Repec.Org/p/www/wiwsa/ersa01p271>.

²⁴ **De Jong, G.** (2000). Value of freight travel-time savings. *Handbook of transport modelling*, 1, 553-564.

²⁵ **Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., & Garrido-Hidalgo, R.** (2011). Valuing freight transport time using transport demand modelling: a bibliographical review. *Transport Reviews*, 31(5), 625-651.

empresas productoras y distribuidores. Así mismo, establece que la mayoría de los estudios del transporte de carga se enfocan en esta última categoría. En la revisión realizada por (*De Jong G. , 2000*)²⁶, indica que de acuerdo a la evidencia empírica, los agentes de carga generalmente son los responsables de decidir la ruta, mientras que la empresa generadora del envío decide sobre el modo de transporte.

Por su parte, (*Kawamura, K., 2000*)²⁷ centra su investigación en los operadores de camiones, estableciendo dentro de esta categoría los conductores, despachadores, gerentes de flota, y supervisores. Para el caso particular del presente estudio y dadas las condiciones del transporte de mercancía en Colombia, la encuesta se aplica directamente a los conductores de los vehículos, quienes finalmente deciden la ruta que ofrece mayores beneficios.

Los datos para desarrollar modelos de comportamiento se pueden obtener mediante técnicas de preferencias declaradas (PD) o preferencias reveladas (PR). En ambos casos, el objetivo final de la entrevista es descubrir cómo valora el entrevistado los atributos del transporte. La diferencia principal de ambas técnicas se define por los datos que proporcionan, las PR se basan en los atributos medidos en escenarios reales, mientras que las PD evalúan características hipotéticas (*García - Menéndez, 2009*)²⁸.

(*Wynter, 1995*)²⁹, plantea en su investigación que los datos de PR resultan insuficientes para estimar VST, ya que al describir los actuales costos y tiempos de viaje de los usuarios, no

²⁶ **De Jong, G. (2000).** Value of freight travel-time savings. Handbook of transport modelling, 1, 553-564.

²⁷ **Kawamura, K. (2000).** Perceived value of time for truck operators. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1725), 31-36.

²⁸ **García-Menéndez, L., & Feo-Valero, M. (2009).** European Common Transport Policy and Short-Sea Shipping: Empirical Evidence Based on Modal Choice Models. Transport Reviews, 29(2), 239-259.

²⁹ **Wynter, L. M. (1995).** Stated preference survey for calculating values of time of road freight transport in France. Transportation Research record, (1477), 1-6.

relacionan más de una o dos diferentes combinaciones de precios (peaje) y el tiempo de viaje, en particular desde un determinado origen – destino. Por tanto, defiende el uso de encuestas de PD, para obtener VST directamente de los usuarios ya que permite el aislamiento de los efectos de los precios y los cambios de tiempos de viaje.

En las últimas décadas se han generado un número considerable de estudios que utilizan principalmente técnicas de PD para la estimación del VST por ejemplo, *(De Jong G. e., 2014)³⁰; (Zamparini, 2007)³¹; (Zamparini, L., Layaa, J., & Dullaert, W. , 2011)³²; (Kawamura, K., 2000)³³; (Kurri, J., Sirkiä, A., & Mikola, J. , 2000)³⁴; (Wigan, 2000)³⁵; (Wynter, 1995)³⁶* En el caso del transporte, los investigadores pueden utilizar estas técnicas para evaluar la demanda ante nuevos servicios e infraestructuras aun cuando estos no están disponibles, considerando incluso los aumentos de precios *(Wynter, L. 1995)*.

Dada la dificultad de obtener información del transporte de carga, existe un número limitados de estudios que consideran datos de PR. Por esta misma razón las estimaciones de modelos de

³⁰ **De Jong, G., Kouwenhoven, M., Bates, J., Koster, P., Verhoef, E., Tavasszy, L., & Warffemius, P. (2014).** New SP-values of time and reliability for freight transport in the Netherlands. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 64, 71-87.

³¹ **Zamparini, L., & Reggiani, A. (2007).** Freight Transport and the Value of Travel Time Savings: A Meta-analysis of Empirical Studies. *Transport Reviews*, 27(5), 621-636.

³² **Zamparini, L., Layaa, J., & Dullaert, W. (2011).** Monetary values of freight transport quality attributes: A sample of Tanzanian firms. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1222-1234.

³³ **Kawamura, K. (2000).** Perceived value of time for truck operators. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1725), 31-36.

³⁴ **Kurri, J., Sirkiä, A., & Mikola, J. (2000).** Value of time in freight transport in Finland. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1725), 26-30.

³⁵ **Wigan, M., Rockliffe, N., Thoresen, T., & Tsolakis, D. (2000).** Valuing long-haul and metropolitan freight travel time and reliability. *Journal of Transportation and Statistics*, 3(3), 83-89.

³⁶ **Wynter, L. M. (1995).** Stated preference survey for calculating values of time of road freight transport in France. *Transportation Research record*, (1477), 1-6.

elección discreta con datos mixtos de PR y PD han sido poco aplicados a los estudios de transporte de carga, aunque se recomienda el uso de datos mixtos para hacer uso de los beneficios de ambas técnicas (*Krüger, 2015*).³⁷

Desarrolla (*Vellay, 2003*)³⁸ un modelo para evaluar la elección de modos en el transporte de mercancía de la región Norte Paso de Calais utilizando simultáneamente técnicas PD y PR.

Para determinar el VSTM se han utilizado al menos tres métodos, estos son: (1) el ahorro de costos, que se fundamenta en el ahorro de los costos por unidad de tiempo; (2) el método de beneficio neto, que estima el incremento neto de beneficios resultante por la reducción del tiempo de viaje; y (3) el método de la disposición a pagar, que mide el valor percibido del tiempo de las elecciones reveladas o declaradas, en situaciones comerciales que implican tiempo y dinero (*Kawamura, K., 2000*)³⁹. Varios autores han centrado su análisis en la teoría del comportamiento del consumidor, sobre todo cuando se utilizan técnicas de PD para la recopilación de datos, para determinar la disposición a pagar (*Kawamura, K., 1999*)⁴⁰.

Uno de los primeros modelos económicos que estudió la demanda de transporte de carga entre ciudades en los Estados Unidos, fue propuesto por (*Winston, C., , 1981*)⁴¹, quien utiliza un modelo de utilidad aleatoria, considerando las características empresas y de la mercancía

³⁷ **Krüger, N. A., & Vierth, I.** (2015). Precautionary and operational costs of freight train delays: a case study of a Swedish grocery company. *European Transport Research Review*, 7(1), 1-10.

³⁸ **Vellay, C and de Jong, G** (2003) Analyse Conjointe SP/RP du Choix du Mode de Transport de Marchandises dans la Region Nord-Pas de Calais.

³⁹ **Kawamura, K. (2000).** Perceived value of time for truck operators. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1725), 31-36.

⁴⁰ **Kawamura, K. (1999).** Commercial vehicle value of time and perceived benefit of congestion pricing. University of California Transportation Center.

⁴¹ **Winston, C., 1981.** A disaggregate model of the demand for intercity freight transportation. *Econometrica* 49 (4), 981–1006.

transportada. Los modelos Logit basado en la teoría del comportamiento del consumidor, han sido ampliamente utilizados para representar la función de utilidad de las empresas de transporte de carga (*Kurri et al., (2000); Kawamura, K., (2000); García-Menéndez, L., & Feo-Valero, M., (2009); Wigan, M., et al. (2000); Entre otros*).

Recientemente se están utilizando técnicas de micro simulación para determinar el VSTM, esto con el fin de examinar los efectos de la congestión y los costos de peajes en el sistema de transporte de mercancía (*Mei Q. &, 2011*)⁴²; (*Mei Q. H., 2013*)⁴³; (*Rich, 2009*)⁴⁴.

Como es el caso del transporte de pasajeros, uno de los mayores desafíos que enfrentan los investigadores dado los diferentes atributos del transporte, es definir correctamente las variables que serán evaluadas (*Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., & Garrido-Hidalgo, R., (2011)*). Una extensa revisión de la literatura indica que los atributos que más fueron señalados por tener un impacto significativo en la estimación del VSTM son relación precio / costo, el tiempo de tránsito, frecuencia, flexibilidad y fiabilidad, tanto en términos de tiempo, y las pérdidas y roturas (*García - Menéndez, 2009*) Estudios recientes han considerado en su análisis los diferentes grupos de producto y el tipo de camión (*Rich, 2009*); (*Kawamura, K., 2000*); (*Wynter, 1995*).

Los resultados obtenidos de VSTM varían considerablemente de un estudio a otro, esto se debe en gran medida a la heterogeneidad de los flujos del transporte de carga. Factores tales

⁴² **Mei, Q., & Horowitz, A.** (2011). Incorporating Toll Pricing Policy into A Microsimulation Model for Long-Distance Freight Transportation. National Center for Freight & Infrastructure Research & Education College of Engineering Department of Civil and Environmental Engineering University of Wisconsin, Madison, 11(2).

⁴³ **Mei, Q. Hussein, M. And Horowitz, A.** (2013) Establishing Values of Time for Freight Trucks for Better Understanding of Impact of Toll Policies, Journal of the Transportation Research Board, 2344-15, pp. 135–143.

⁴⁴ **Rich, J., Holmblad, P. M., & Hansen, C. O.** (2009). A weighted logit freight mode-choice model. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 45(6), 1006-1019.

como la diversidad de los modelos teóricos y de los métodos de recolección de información puede explicar en parte la variación notable en las estimaciones. Sin embargo, otros elementos como las unidades de medida cambian considerablemente de un estudio a otro. Estableciendo unida de tiempo en horas, días o minutos y medidas cuantitativas en toneladas, envió, camión, vagón, entre otras (*Zamparini, L., & Reggiani, A., 2007*). Esto hace que las comparaciones resulten problemáticas, dificultando el uso de valores de referencia entre proyectos, por tanto se debe tener precaución al extrapolar los resultados de VSTM (*Feo- Valero, M., & García-Menéndez, L., 2011*).⁴⁵

⁴⁵ **Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., & Garrido-Hidalgo, R.** (2011). Valuing freight transport time using transport demand modelling: a bibliographical review. *Transport Reviews*, 31(5), 625-651.

6. Antecedentes

El transporte es un mecanismo notable en el progreso de los países y, en este sentido, las transformaciones que se hagan en infraestructura sufrirán el desarrollo financiero de los mismos. En Colombia, el avance de la construcción emprendió a principios del siglo XX con las obras de las primeras vías en la década de 1930. Años atrás se estaban haciendo enormes esfuerzos por fundar diferentes ferrocarriles con el apoyo de empresas extranjeras, que finalmente absorbieron todos los capitales de la Nación, sin quedar los bienes necesarios para el sostenimiento. El transporte férreo llegó a mover el 33% de las mercancías a nivel nacional, pero por inconvenientes de una alta carga laboral, pensional y una enorme accidentalidad, terminaron llevando el sistema al abismo.

En Antioquia se vendió el ferrocarril a la Nación en la década de 1960 y desapareció completamente hacia finales de los años noventa. Hoy en día el transporte en Colombia se hace principalmente por carretera, teniendo que esquivar una topografía tosca, lo cual hace que el transporte de mercancía al interior del país sea en muchos casos más costoso que desde los puertos hasta ciudades al otro extremo del planeta. Problemas como el alto costo de los combustibles, el estado de las vías, la edad del parque automotor y las distancias desde los principales centros productivos hasta los puertos, hacen que las empresas pierdan capacidad en el entorno globalizado de hoy, haciendo necesaria la inversión en infraestructura en el país.

En Antioquia, los ferrocarriles prestaban un servicio muy importante para aquellos municipios que aún no se encontraban interconectados por carreteras en el año de 1935 y el transporte no permitía el movimiento de cargas de mucho peso. Los precios eran del orden de \$0,30 a \$0,50 por tonelada (en moneda de la época) para cargas a lomo de mula, que solo se podía pagar en

productos de alto valor, ya que algunos podían alcanzar casi el doble cuando se sumaba el precio del transporte.

En algunos municipios, el precio de productos campesinos podía alcanzar el doble que en otros. La malla total de caminos de herradura con que contaba el departamento en ese año era de 5.183 km. Los materiales eran transportados en bultos de 65 a 70 kg a lomo de mula o buey de manera individual o en grupos de animales llamados “turegas”. El costo del transporte entre Medellín y Nare era de \$8 por carga de 200 libras, es decir, \$0,8/ton-milla para tiempo seco y llegaba hasta \$13 por carga de 200 libras cuando había invierno. El tiempo que tomaba este camino era de 10 a 15 días y muchas veces los muleros no permitían que se transportaran más de 160lb.

Para cargas de más de 200 libras o que su tamaño no permitía cargarlas a lomo de mula, se montaban en estructuras de madera o en “turegas” de bueyes. Un piano podía tomar 20 días en llegar a Medellín y maquinaria grande llegó a durar cinco años en camino (*Poveda, 1974*).⁴⁶

El Gobierno nacional en su ánimo de ejecutar obras de infraestructura que mejoren las condiciones del país, creó las Asociaciones Público Privadas (*APP*)⁴⁷, que son un mecanismo que permite al Estado la construcción de vías sin enredar recursos que se necesitan actualmente para programas sociales. Las obras de infraestructura vial provenientes de estas APP no serán todas en doble calzada según Luis Fernando Andrade, ex presidente de la Agencia Nacional de Infraestructura (*ANI*)⁴⁸, pues sólo se requieren con esta especificación cerca de las ciudades y adicionalmente no existen todos los recursos. Una de las exigencias del gobierno es que si no se

⁴⁶ **Poveda, G.** (1974). Antioquia y el Ferrocarril de Antioquia. Medellín, Colombia: Gráficas Vallejo.

⁴⁷ **APP:** Alianza Público Privada

⁴⁸ **ANI:** Agencia Nacional de Infraestructura

entrega la obra, los entes privados no tienen acceso a los peajes y que luego de la entrega la administración de la vía queda asignada a ellos por un período, en algunos casos, superior a 30 años (*Correa, 2015*).⁴⁹

En Antioquia las Autopistas de la Prosperidad, que se construirán con Alianzas Público Privadas (APP), son 8 en total: Mar 1, Medellín-Cañasgordas; Mar 2, Cañasgordas-El Tigre; Conexión Norte, Remedios-Zaragoza-Caucasia; Magdalena 1, Bello-Alto de Dolores; Magdalena 2, Remedios-Alto de Dolores-Puerto Berrío; Pacífico 1, Ancón Sur-Bolombolo; Pacífico 2, Bolombolo-La Pintada; y Pacífico 3, La Pintada-La Virginia (Caldas). Estas autopistas suman 1.160 km y más de 14 billones de pesos en inversión. Dentro de este grupo de obras se tiene planeada la construcción del túnel más largo del país hasta el momento, con una longitud de 9,8Km, llamado el túnel del Toyo que conectará los municipios de Giraldo y Cañasgordas en la nueva vía a Urabá y se estima que tendrá un costo de 1,83 billones de pesos.

Los nuevos corredores en Colombia, dentro de los cuales se encuentran las autopistas de la prosperidad, prometen una reducción entre el 20 y 43% del tiempo de recorrido entre las principales ciudades del país, es decir, 5,7 horas en promedio (*Loaiza, 2015*)⁵⁰.

Desde Medellín se ha estado construyendo la doble calzada Ancón Sur-Primavera y se están ejecutando obras para llegar al municipio de Amagá, en el sector de Camilocé, con túneles y puentes en lo que es el preámbulo de la vía que conectará al Valle de Aburrá con el Eje Cafetero,

⁴⁹ **Correa, M. (03 de julio de 2015).** En un año inician grandes obras en el río Magdalena. Recuperado el 03 de julio de 2015, de El Colombiano: <http://www.elcolombiano.com/colombia/en-un-ano-inician-grandes-obras-en-el-riomagdalena-LH2238278>

⁵⁰ **Loaiza, J. (7 de septiembre de 2015b).** Con Magdalena 1, serán 7 de 8 Autopistas definidas. Recuperado el 7 de septiembre de 2015, de El Colombiano: <http://www.elcolombiano.com/antioquia/con-magdalena-1-seran-7-de-8-autopistasdefinidas-MA2673097>

Cali y el puerto de Buenaventura por medio de Pacífico 1, una de las llamadas Autopistas de la Prosperidad (*Loaiza, J., 2015*)⁵¹.

⁵¹ **Loaiza, J. (28 de mayo de 2015a).** Los túneles de Kachotis se profundizan en la montaña. Recuperado el 28 de mayo de 2015, de El Colombiano: <http://www.elcolombiano.com/antioquia/los-tuneles-de-kachotis-se-profundizan-en-lamontana-IC2004309>

7. Recolección y tratamiento de la información

7.1.Determinación de la disposición a pagar por ahorros en tiempo de viaje

7.1.1. Acopio de información

Para el desarrollo del estudio se adelantarán actividades de toma de información de campo en la ciudad de Medellín, consistente en la realización de encuestas de preferencias declaradas. Para ello, se dispuso de personal capacitado para hacer entrevistas relativas a viajes rurales, orientados a aquellas personas que utilizan recurrentemente la vía Medellín-Rionegro-La Dorada-Bogotá para movilizarse, utilizando la autopista.

Actualmente, la ruta anteriormente citada tiene una longitud aproximada de 420 km con velocidades de operación cercanas a los 80 km/h, el estado de la infraestructura de manera general muy es buena.

Se propone una ruta alterna de 534 km con velocidad de operación de 60 km/h cuya ruta es Vía Medellín-Cisneros-Puerto Berrio-Cimitarra-Barbosa-Bogotá. La ruta propuesta actualmente está en muy buenas condiciones, cuyo estado de la infraestructura logra velocidades de operación cercana a los 60 km/h. El objetivo del estudio es determinar la disposición a pagar de los usuarios de vehículos de carga para así realizar estimaciones del valor subjetivo del tiempo para la evaluación social de proyectos de infraestructura.

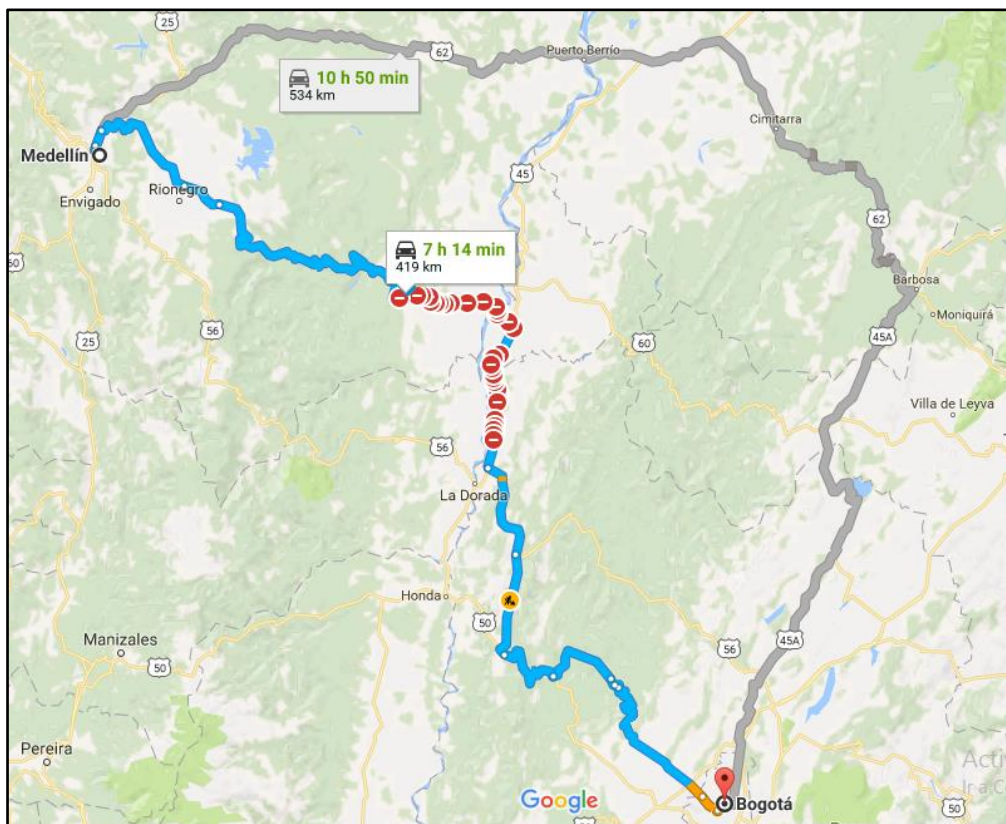


Figura 1: Rutas en evaluación; La Ruta Gris es propuesta y La Ruta Azul es la que actualmente están usando.
Fuente: Por, E. Cabas, 2017. Modificado de Google Maps.

La población objetivo de las entrevistas se encuentra en lugares donde exista una alta concentración de usuarios de la ruta, y que se movilen en vehículo particular (auto) y camiones de carga.

7.1.2. Datos de preferencias declaradas

Para el registro de la información se desarrolló un instrumento de encuestas de preferencias declaradas.

Con el diseño de las encuestas PD se buscó establecer la disposición a pagar de los usuarios de los diferentes corredores viales en estudio, utilizando una nueva ruta.

Al analizar el transporte de carga en Colombia y sus antecedentes se estableció que los atributos relevantes, que determinan la disposición a pagar de los usuarios o transportistas de

carga son: el pago de peajes, el ahorro en el tiempo de viaje y el tipo de mejora a la infraestructura vial. Por tanto, para el diseño de la encuesta se tomaron como atributos el costo de transporte, entendido este como el valor adicional de pagos de peajes sobre el actual, el tiempo de viaje o ahorro sobre el tiempo de viaje actual y el tipo de vía luego de la mejora, como se observa en la ilustración 2.



| Ruta Nueva: Vía Medellín-Cisneros-Puerto Berrio-Cimitarra-Barbosa-Bogotá | | Ruta Actual: Vía Medellín-Rionegro-La Dorada-Bogotá, utilizando autopista Medellín - Bogotá | | |
|---|--|---|----------------------|--------------------------------|
|  | |  | | |
| VS | | | | |
| TARJETA PARA C5 - C6 | | | | |
| Ejemplo | DIFERENCIA DE LA RUTA NUEVA CON RESPECTO A LA ACTUAL | | ¿QUÉ RUTA USARÍA? | |
| | TIEMPO ADICIONAL DE VIAJE EN MINUTOS | AHORRO EN COSTOS DE PEAJES | USARÍA LA NUEVA RUTA | SEGUIRÍA USANDO LA RUTA ACTUAL |
| 1 | 20 más | \$ 15.000 menor | | |
| 2 | 40 más | \$ 15.000 menor | | |
| 3 | 60 más | \$ 15.000 menor | | |
| 4 | 20 más | \$ 20.000 menor | | |
| 5 | 40 más | \$ 20.000 menor | | |
| 6 | 60 más | \$ 20.000 menor | | |
| 7 | 20 más | \$ 25.000 menor | | |
| 8 | 40 más | \$ 25.000 menor | | |
| 9 | 60 más | \$ 25.000 menor | | |

Figura 2. Instrumento, encuestas de preferencia declarada para camiones con ejes Tipo C5 – C6
Fuente: Por, E. Cabas, 2017

Para ejecución de las encuestas se utilizó cuatro (4) encuestadores, que distribuyó su tiempo en diversos puntos adyacentes a las rutas bajo estudio, la información fue tomada de todo el mes

de agosto, resaltando la colaboración que me prestó la empresa Estyma Estudios y Manejos S.A., con personal de ayuda para realizar las encuestas.



Figura 3. Toma de encuestas
Fuente: Por, E. Cabas, 2017



Figura 4. Toma de encuestas
Fuente: Por, E. Cabas, 2017

7.1.3. Instrumento de acopio de datos

El instrumento consta de dos secciones: en la primera que se diligencia la información del encuestador (nombre del encuestador y consecutivo de la encuesta) y la fecha.

Los datos de la primera sección se diligencian de la siguiente manera:

- **Fecha:** Se escribe la fecha en la que fue realizada la encuesta en formato de día, mes y año (DD/MM/AAAA).
- **Hora de la encuesta:** Se escribe la hora en la que se empieza a diligenciar la primera encuesta de esa hoja en formato de hora militar (HH:MM).
- **Encuestador:** Se escribe el nombre completo de la persona que realiza la encuesta.
- **Consecutivo encuesta:** se definió una codificación con el fin de ejercer un control sobre la información recopilada. El código será un número de seis dígitos, los cuales indican el corredor donde se aplica la encuesta, el encuestador y el número de la encuesta (0-00-000).
- **Vehículo:** Automóvil (conductor), camiones C2, C3-C4 y C5-C6.
- **Hoja ____ de ____:** Registro del número de hojas utilizadas por el encuestador.

En la segunda parte se plantean nueve (9) casos hipotéticos, en los que se presentan diferentes opciones que contiene el experimento de preferencias declaradas, éste consiste en la presentación a cada entrevistado de una situación de viaje hipotética que recrea las características de los desplazamientos típicos que realiza sobre la ruta bajo estudio, planteándole escenarios de elección de modo diferentes, en las que se alteraron intencionalmente entre un escenario y otro los valores de atributos, con el objeto de medir la sensibilidad de las personas ante cambios en los atributos que describen la ruta como el tiempo adicional de viaje y ahorros en los costos de peajes.

Los escenarios hipotéticos presentados a los individuos tienen los siguientes componentes:

- 1) **Tiempo adicional de viaje:** Se ofrecen tres niveles de tiempo adicional de viaje, 20, 40 y 60 minutos si el usuario elige desplazarse por la nueva ruta alterna hipotética.

- 2) **Ahorro en costos de peajes:** Valor que ahorra el usuario por circular por la ruta alterna hipotética, en la que se desplazará a mayor tiempo. Para los usuarios de autos se varía el ahorro en costo entre \$4.000, \$6.000 y \$8.000; los camiones C2 entre \$6.000, \$8.000 y \$10.000; los camiones C3-C4 entre \$10.000, \$13.000 y \$16.000; y los camiones C5-C6 entre \$15.000, \$20.000 y \$25.000.
- 3) **Elección:** Se diligencia marcando USARÍA LA NUEVA RUTA o SEGUIRÍA USANDO LA RUTA ACTUAL.

Las situaciones de viajes hipotéticas se agruparon en un instrumento (encuesta) con diferentes escenarios de elección. Se realizaron tipos de instrumentos para cada tipología de vehículos. Para el experimento se consideraron dos factores típicos en este tipo de estudios, los cuales ostentan una alta incidencia en el proceso de toma de decisión de los individuos para elegir ruta: costo o tarifa, y tiempo de viaje a bordo del vehículo, específicamente en términos de ahorro en costos y tiempo adicional de viaje de la ruta nueva con respecto a la actual.

7.1.4. Procesamiento de la información

Tras la recopilación y digitación de la información se procede a hacer un análisis gráfico de la misma, para obtener indicadores que sirvan para identificar patrones de comportamiento de los usuarios que transitan por los corredores en estudio. Se cuenta con información de 250 encuestas para un total de 2250 elecciones de usuarios de diversas tipologías vehiculares. Los Autos encuestados fueron 81 (32%), los vehículos de dos ejes (C2) encuestados fueron 88 (35%), 22 (9%) vehículos de tres y cuatro ejes (C3-C4) y por último 59 (24%) de cinco y seis ejes (C5-C6).

Estas encuestas fueron realizadas en la ciudad de Medellín, en la autopista que conduce a la Ciudad de Bogotá. En la tabla 2 siguiente puede observarse la distribución de elección por cada tipología vehicular.

Tabla 2

Procesamiento de información

| Tipo Vehículo | Elección | | | |
|---------------|---------------|--|-------------|------------|
| | No. Vehículos | % Total General (250 Veh. Encuestados) | Ruta Actual | Ruta Nueva |
| Autos | 81 | 32% | 62% | 38% |
| C2 | 88 | 35% | 61% | 39% |
| C3-C4 | 22 | 9% | 62% | 38% |
| C5-C6 | 59 | 24% | 62% | 38% |
| TOTAL | 250 | 100% | | |

Nota: En el siguiente gráfico puede observarse el número de elecciones por cada tipología vehicular .Por E. Cabas, 2017.

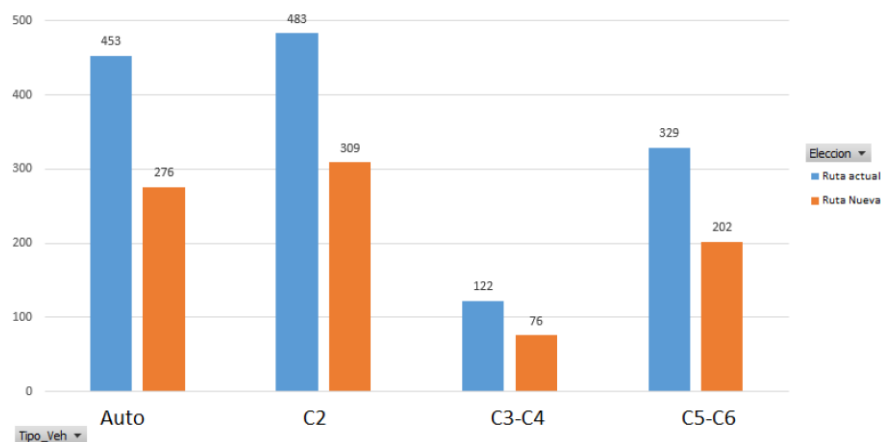


Figura 5. Procesamiento de Información, para cada tipología de vehículo se realizaron 9 casos hipotéticos, por lo tanto el resultado final de los usuarios encuestados es de 2250.

Por, E. Cabas, 2017

Posterior a la recopilación, digitación y análisis de la información concerniente a las encuestas realizadas, se procede al procesamiento de la misma.

8. Especificación y resultados de los modelos

8.1. Modelo logit multinomial

En la presente investigación se especifica como modelo base un logit multinomial MNL con dos alternativas (binario). La probabilidad de elegir la participación en el mercado de cada alternativa de ruta para un desplazamiento rural está dada por las expresiones (2.1) y (2.2), y es función de los atributos observados en este estudio y que conforman la utilidad sistemática (o porción observable) de las funciones de utilidad. Para el modelo se especifican funciones de utilidad que incluyen atributos que representan el nivel de servicio que ofrece cada alternativa de transporte: ahorro en costo, y tiempo adicional de recorrido.

Debido a que los modelos logit trabajan en base a diferencias, se definió solo una función de utilidad.

A continuación, se especifica la función de utilidad de la ruta nueva que ofrece ahorros en los costos de peaje a cambio de un tiempo adicional de viaje con respecto a la ruta actual. Se estimaron 4 modelos como se explica a continuación:

Logit Simple [MNL 1]: Valoración agregada

En este modelo no se tienen en cuenta las variaciones sistemáticas por tipología vehicular, por lo cual la disposición a pagar (VSTM) es agregada para todos los tipos de vehículos.

Utilidad sistemática de la ruta nueva:

$$V_r = ASC_r + \theta_T * T_r + \theta_C * C_r \quad \text{Ecuación (8.1)}$$

Donde,

r : Ruta nueva

V_r : Utilidad sistemática de la ruta r

ASC_r : Constante específica de la ruta r

θ_T : Parámetro del tiempo adicional de viaje de la ruta r

T_r : Magnitud del tiempo adicional de viaje de la ruta r

θ_C : Parámetro del ahorro en costos de peaje de la ruta r

C_r : Ahorro en costo de circular por la ruta r

Así mismo, se especifica un segundo modelo en el que se introducen variaciones sistemáticas en los gustos, con el propósito de hacer estimaciones de tasas marginales de sustitución (VSTM) para los diferentes segmentos de la muestra bajo estudio, definidas por el tipo de vehículo.

Logit Simple [MNL 2]: Variaciones sistemáticas con todas las categorías vehiculares

Utilidad sistemática de la alternativa r , incluyendo variación sistemática en los gustos, según tipo de vehículo utilizado en relación con el tiempo de viaje.

$$V_r = ASC_r + \theta_C * C_r + T_r * (\theta_T + \theta_{T-AUTO} * C_r^{AUTO} + \theta_{T-C2} * C_r^{C2} + \theta_{T-C3C4} * C_r^{C3-C4})$$

Ecuación (8. 2)

Donde:

ASC_r : Constante específica de la ruta r

θ_C : Parámetro del ahorro en costos de peaje de la ruta r

θ_T : Parámetro del tiempo adicional de viaje de la ruta r

C_r : Ahorro en costo de circular por la ruta r

T_r : Magnitud del tiempo adicional de viaje de la ruta r

$\theta_{T-AUTOS}$: Parámetro del tiempo asumido por Autos por la ruta r

C_r^{AUTO} : Variable muda; 1 si es AUTO; 0 en otro caso.

θ_{T-C2} : Parámetro del tiempo asumido por los camiones C2P-C2G por la ruta r

C_r^{C2} : Variable muda; 1 si el camión es tipo C2; 0 en otro caso.

θ_{T-C3C4} : Parámetro del tiempo asumido por los camiones C3-C4 por la ruta r

C_r^{C3-C4} : Variable muda; 1 si el camión es tipo C3-C4; 0 en otro caso

Logit Simple [MNL 3]: Solo Autos

Este modelo solo se incluye los usuarios de Autos, para aislar los efectos de los costos de los camiones:

$$V_r = ASC_r + \theta_{T-Auto} * T_r + \theta_C * C_r \quad \text{Ecuación (8.3)}$$

Donde,

ASC_r : Constante específica de la ruta r

$\theta_{T-Autos}$: Parámetro del tiempo asumido para los Autos por la ruta r

T_r : Magnitud del tiempo adicional de viaje de la ruta r

θ_C : Parámetro del ahorro en costos de peaje de la ruta r

C_r : Ahorro en costo de circular por la ruta r

Logit Simple [MNL 4]: Solo Camiones

Este modelo solo evaluamos la variación que tienen los diferentes tipos de camiones, excluyendo los autos.

$$V_r = ASC_r + \theta_C * C_r + T_r * (\theta_T + \theta_{T-C2} * C_r^{C2} + \theta_{T-C3C4} * C_r^{C3-C4}) \quad \text{Ecuación (8.4)}$$

Donde,

θ_C : Parámetro del ahorro en costos de peaje de la ruta r

C_r : Ahorro en costo de circular por la ruta r

T_r : Magnitud del tiempo adicional de viaje de la ruta r

θ_{T-C2} : Parámetro del tiempo asumido por los camiones C2P-C2G por la ruta r

C_r^{C2} : Variable muda; 1 si el camión es tipo C2; 0 en otro caso.

θ_{T-C3C4} : Parámetro del tiempo asumido por los camiones C3-C4 por la ruta r

C_r^{C3-C4} : Variable muda; 1 si el camión es tipo C3-C4; 0 en otro caso

8.2. Estimación de modelos y análisis de resultados

Las estimaciones de los parámetros para los cuatro modelos se observan en la Tabla 2. Para el cálculo de los parámetros se hizo uso del paquete estadístico Biogeme haciendo uso del método de máxima verosimilitud. Para el análisis de cada modelo se tuvo en cuenta la importancia implícita de los atributos y parámetros de bondad de ajuste como la log-verosimilitud y la prueba t-student.

8.3. Resultados de la estimación de modelos

En términos generales, los modelos revelan algunas similitudes entre sí.

Los parámetros estimados de las variables explicativas también exhiben, en gran medida, signos, valores y significancia estadística según lo esperado. Algunos atributos de alta importancia en los procesos de planificación, como lo son el costo y el tiempo de viaje, evidencian su relevancia en el proceso de toma de decisión de los individuos para elegir la ruta para desplazarse. Este comportamiento se refleja en todos los modelos propuestos, y puede afirmarse observando los valores de la prueba t-student de cada atributo.

Tabla 3

Resultados de estimaciones de parámetros de los modelos

| Parámetro | MNL ₁ (t-test) | MNL ₂ (t-test) | MNL ₃ (t-test) | MNL ₄ (t-test) |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ASC_r | 1.25 (8.74) | 0.855 (4.44) | 0.589 (1.62) | 0.710 (2.82) |
| θ_C | 0.0171 (2.24) | 0.0557 (3.76) | 0.148 (2.91) | 0.0566 (3.40) |
| θ_T | -0.0497 (-16.50) | -0.0612 (-12.00) | | -0.0582 (-11.23) |
| θ_{T-AUTO} | | 0.0164 (2.82) | -0.0516 (-9.60) | |
| θ_{T-C2} | | 0.0156 (2.99) | | 0.0158 (2.82) |
| θ_{T-C3C4} | | 0.00408 (0.45) | | 0.00429 (0.78) |
| # de observaciones | 2250 | 2250 | 729 | 1521 |
| Log-verosimilitud $L(\theta)$ | -1341.551 | -1335.942 | -427.114 | -905.902 |

Nota: Estos resultados fueron sacados de la evaluación de cada uno de los modelos teniendo en cuenta cada uno de los parámetros y la prueba t-student de cada atributo

Por, E. Cabas, 2017

Como puede observarse el parámetro t-student es mayor a 1.96 en todos los modelos, a excepción de la constante específica (ASC) en el modelo 3 (MNL3) y los parámetros θ -C3C4 en los modelos 2 y 4 (MNL2, MNL4). Los atributos no fueron excluidos del modelo debido a su importancia según la hipótesis de estudio y el signo correcto en su estimación. La no significancia de los parámetros se asocia al tamaño de la muestra escogida. Puede observarse que el parámetro del tiempo (θ_t) es negativo, lo cual tiene sentido debido a que este representa el tiempo adicional de viaje al escoger la ruta, por lo cual un aumento marginal de su valor representa una disminución en la utilidad de la ruta, de igual manera puede observarse que el parámetro del costo (θ_c) es positivo, lo cual tiene sentido debido a que este representa el ahorro en peajes al escoger la ruta, por lo cual un aumento en su valor representa una ganancia de utilidad. Los signos de los parámetros asociados a las variaciones sistemáticas se observa la relación $\theta_{T-Auto} > \theta_{T-C2} > \theta_{T-C3C4}$ siendo un valor positivo, lo cual confirma la hipótesis de una valoración mayor del tiempo al aumentar la tipología vehicular.

8.4. Tasas marginales de sustitución: valor subjetivo del tiempo

A partir de los parámetros obtenidos es posible realizar estimaciones de tasas marginales de sustitución, en este caso derivaciones de valores subjetivos del tiempo de viaje, que consiste en la disponibilidad a pagar (DAP) por ahorrar tiempo de viaje para diferentes porciones de la muestra con respecto al tipo de vehículo, a partir de la **Ecuación 2.12**

Los resultados de las estimaciones pueden observarse en la **Tabla 4**. En el modelo 1 (MNL1) el VST es equivalente para cada tipo de vehículo, como consecuencia de no tener en cuenta las características vehiculares, por lo tanto, los resultados son equivalentes para todos los usuarios evaluados. Según la revisión literaria diferentes estudios, se establece valores que varían de 0,6 a

3,5 USD/ton/h (*Rich, J. et al., 2009*)⁵². Las medidas del VSTM son muy altas comparadas con las reportadas en la literatura. En el segundo modelo (MNL2) se especificaron variaciones sistemáticas entre el tiempo y la categoría vehicular, se encontró que para los vehículos tipo auto el valor del tiempo es de \$804, los C2 \$817, los C3-C4 \$1,025 y C5-C6 \$1,099. A partir de los resultados puede observarse que el valor del tiempo aumenta a medida que incrementa los ejes vehiculares, como se planteó en las hipótesis. Con el objetivo de diferenciar los usuarios de Autos y Camiones y aislar los efectos de los costos y objetivos distintos de viaje, se especificaron el modelo 3 (MNL3) y el modelo 4 (MNL4). La ventaja de realizar los modelos separados corrige el efecto de diferenciar dos tipos de usuarios cuyos patrones y costos de viaje son distintos. Claramente un vehículo de carga posee costos operacionales (peajes, combustible, lubricantes etc.) distintos a un vehículo particular. Por esta razón los valores del tiempo del MNL1 y MNL2 resultan ser muy altos comparados con los del modelo 3 y 4.

Tabla 4

Tasas marginales de sustitución

| VSTM | MNL1 (t-test) | MNL2 (t-test) | MNL3 (t-test) | MNL4 (t-test) |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| VST Auto (\$COP/min) | \$ 2,906 | \$ 804 | \$ 349 | |
| VST C2 (\$COP/min) | \$ 2,906 | \$ 819 | | \$ 749 |
| VST C3-C4 (\$COP/min) | \$ 2,906 | \$ 1,025 | | \$ 952 |
| VST C5-C6 (\$COP/min) | \$ 2,906 | \$ 1,099 | | \$ 1,028 |

Nota: Estos valores son calculados según la ecuación 4.12
Por, E. Cabas, 2017.

⁵² **Rich, J., Holmblad, P. M., & Hansen, C. O.** (2009). A weighted logit freight mode-choice model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 1006-1019.

En la Tabla 4 se muestran los resultados para cada categoría vehicular según el MNL4. Con el objetivo de estimar el valor subjetivo del tiempo de mercancía (VSTM) por tonelada (COP/ton-min) se consideraron valores de carga promedio según cada categoría vehicular, estimando para cada caso el VSTM por tonelada (C2C3: 8 toneladas, C4C5:18 toneladas y C6: 28 toneladas). Estos valores se hallan dentro del rango reportado en diferentes estudios, en los cuales se establecen valores que varían de 0,6 a 3,5 USD/ton/h (*Rich, J. et al., 2009*).⁵³

Tabla 5
VSTM por categoría vehicular según MLN4

| Categoría de vehículo | VSTM (USD/tonelada-hora) |
|------------------------------|---------------------------------|
| C2 | 1,90 |
| C3-C4 | 1,07 |
| >C5 | 0,74 |

Nota: Precios calculados convirtiendo los Valores a USD/tonelada, evaluados en la tabla 5
Por, E. Cabas, 2017

Otra fuente encontrada fue el producto de investigación presentado en el Congreso Internacional de Transporte y Transito de Junio del 2017, llamado “*Modelos de elección discreta para estimar el Valor Subjetivo del Tiempo capturando heterogeneidad en el transporte de mercancías*”, obteniendo valores, como se reporta en la tabla 5, para los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca (*Callejas, Serrano, Cantillo, Cantillo*)⁵⁴.

⁵³ **Rich, J., Holmblad, P. M., & Hansen, C. O.** (2009). A weighted logit freight mode-choice model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 1006-1019.

⁵⁴ **Callejas, Serrano, Cantillo & Cantillo** producto de investigación - Congreso Internacional de Transporte y Transito de Junio del 2017 - Modelos de elección discreta para estimar el VST capturando heterogeneidad en el transporte de mercancías

Tabla 6

VST por categoría vehicular

| Categoría de vehículo | VSTM(COP\$/min) |
|----------------------------------|------------------------|
| C2C3 | \$306 |
| C4C5 | \$543 |
| >C6 | \$893 |

Nota: Modelos de elección discreta para estimar VST
 capturando heterogeneidad en el transporte de mercancías
 Por, Callejas, Serrano, Cantillo & Cantillo, 2017

Comparando los valores reportados en la literatura, el modelo MNL4 representa de mejor manera la disposición a pagar por reducir el tiempo de viaje. Determinar modelos de elección discreta diferenciado Camiones y Autos representa de mejor manera las elecciones para cada segmento económico del transporte. Diferencias el valor del tiempo por tipología vehicular permitió un estudio más detallado de las elecciones y por lo tanto una mejor estimación de la disposición a pagar.

9. Conclusiones

En esta investigación se han estimaron modelos de elección discreta para estimar el valor subjetivo del tiempo de viaje mercancías de vehículos de carga (VSTM). A partir de una base de datos de encuestas PD a usuarios transportadores de carga, se especificaron modelos sensibles a la tipología vehicular.

El modelo (MNL1) demostró que valorar de forma agregada el VSTM proporciona un valor sesgado de la disposición a pagar. Para el segundo (MNL2), se especificaron variaciones sistemáticas entre el tiempo y las categorías vehiculares, obteniendo resultados diferentes de la disposición a pagar para cada uno de los tipos de vehículos. A partir de los resultados se puede observar que el valor del tiempo aumenta a medida que los ejes vehiculares incrementan, afectando también el valor del tiempo de los automóviles debido a que estos usuarios reciben el efecto de los costos operacionales de los vehículos pesados, dando como resultado un modelo sesgado.

Los modelos MNL3 y MNL4 se estimaron con el fin de corregir los errores de sesgo de los modelos anteriores al integrar los automóviles y camiones en un solo modelo. Por lo tanto, se evaluaron de manera independiente cada tipo de usuario, obteniendo como resultado valores del tiempo más objetivos para cada modelo.

Futuras investigaciones alrededor del tema pueden enfocarse en la utilización de datos combinados de preferencias reveladas y declaradas que permitan obtener mejores resultados. Así mismo, se hace necesario analizar el VSTM en diferentes modos de transporte como el modo férreo y aéreo; también en el contexto de transporte multimodal.

10. Referencias

- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. (1985). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Bergkvist, E. (2001). The value of time and forecasting of flows in freight transportation. European Regional Science Association, <http://ideas.repec.org/p/wiw/wiwsa/ersa01p271.html>.
- Börjesson, M., & Eliasson, J. (2014). Experiences from the Swedish Value of Time study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 59, 144-158.
- Cameron, T. A., & James, M. D. (1987). Efficient estimation methods for "closed-ended" contingent valuation surveys. *The review of economics and statistics*, 269-276.
- García-Menéndez, L., & Feo-Valero, M. (2009). European Common Transport Policy and Short-Sea Shipping: Empirical Evidence Based on Modal Choice Models. *Transport reviews*, 29(2), 239-259.
- De Jong, G. (2000). Value of freight travel-time savings. *Handbook of transport modelling*, 1, 553-564.
- De Jong, G., Kouwenhoven, M., Bates, J., Koster, P., Verhoef, E., Tavasszy, L., & Warffemius, P. (2014). New SP-values of time and reliability for freight transport in the Netherlands. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 64, 71-87.
- Dullaert, W., & Zamparini, L. (2013). The impact of lead time reliability in freight transport: A logistics assessment of transport economics findings. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 190-200.
- Feo-Valero, M., García-Menéndez, L., & Garrido-Hidalgo, R. (2011). Valuing freight transport time using transport demand modelling: a bibliographical review. *Transport Reviews*, 31(5), 625-651.
- Fosgerau, M., Hjorth, K. and Lyk-Jensen, S.V. (2007b). The Danish Value of Time Study: Results for Experiment 1. Report for the Ministry of Transport, Danish Transport Research Institute.
- Gaudry, M. J. I. y M. J. Wills (1978) Estimating the functional form of travel demand models. *Transportation Research* 12, 257-289.
- Gerson Javier Pérez V. (2005). *La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia*. Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER) del Banco de la República, Cartagena, ISSN 1692 – 3715.



- Graham, D.J. & Glaister, S. 2004, "Road traffic demand elasticity estimates: A review", *Transport Reviews*, vol. 24, no. 3, pp. 261-274.
- Jara Díaz, S. (2007). *Transport Economic Theory*. Elsevier.
- Kawamura, K. (1999). Commercial vehicle value of time and perceived benefit of congestion pricing. University of California Transportation Center.
- Kawamura, K. (2000). Perceived value of time for truck operators. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1725), 31-36.
- Kawamura, K. (2003). Perceived benefits of congestion pricing for trucks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1833), 59-65.
- Krüger, N. A., & Vierth, I. (2015). Precautionary and operational costs of freight train delays: a case study of a Swedish grocery company. *European Transport Research Review*, 7(1), 1-10.
- Kurri, J., Sirkiä, A., & Mikola, J. (2000). Value of time in freight transport in Finland. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1725), 26-30.
- Mei, Q., & Horowitz, A. (2011). Incorporating Toll Pricing Policy Into A Microsimulation Model For Long-Distance Freight Transportation. National Center for Freight & Infrastructure Research & Education College of Engineering Department of Civil and Environmental Engineering University of Wisconsin, Madison, 11(2).
- Mei, Q. Hussein, M. and Horowitz, A. (2013) Establishing Values of Time for Freight Trucks for Better Understanding of Impact of Toll Policies, *Journal of the Transportation Research Board*, 2344-15, pp. 135–143.
- McFadden, D., & Domencich, T. (1975). *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*. Amsterdam, Holanda.
- Ojeda-Cabral, M., Batley, R., & Hess, S. (2015). The value of travel time: random utility versus random valuation. *Transportmetrica A: Transport Science*, (just-accepted), 1-26.
- Ojeda-Cabral, M., Batley, R., & Hess, S. (2015). The value of travel time: random utility versus random valuation, *Transportmetrica A: Transport Science* (En revisión).
- Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2006). *Modelling Transport*. Jhon Wiley & Son.
- Ortuzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling transport*. John Wiley & Sons.
- Orro, A., Novales, M., Benítez, Francisco. (2006). "Variaciones en los gustos en modelos de elección modal" Ponencia presentada en el XIV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tráfico y Transporte. Las Palmas de Gran Canaria, 20 al 23 de septiembre de 2006.

- Ramjerdi, F., Flügel, S., Samstad, H., and Killi, M. (2010). Value of time, safety and environment in passenger transport – Time. Report 1053B/2010, Institute of Transport Economics, Oslo.
- Regan, A. C., & Garrido, R. A. (2001). Modelling freight demand and shipper behaviour: state of the art, future directions. Travel Behaviour Research. Pergamon-Elsevier Science, Amsterdam.
- Rich, J., Holmblad, P. M., & Hansen, C. O. (2009). A weighted logit freight mode-choice model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 1006-1019.
- Small, K. A. (2012). Valuation of travel time. *Economics of transportation*, 1(1), 2-14.
- Train, K. (1998). Recreation Demand Models with Taste Differences Over People. *Land Economics*, 74 (2) , 230 - 239.
- Vellay, C and de Jong, G (2003) Analyse Conjointe SP/RP du Choix du Mode de Transport de Marchandises dans la Region Nord-Pas de Calais.
- Walker, J. L. (2001). Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible Error Structures, and Latent Variables. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology. PhD: 208
- Wigan, M., Rockliffe, N., Thoresen, T., & Tsolakis, D. (2000). Valuing long-haul and metropolitan freight travel time and reliability. *Journal of Transportation and Statistics*, 3(3), 83-89.
- Williams, H., & Senior, M. L. (1977). Model based transport policy assessment: (2) removing fundamental inconsistencies from the models. *Traffic Engineering and Control*, 464 - 469.
- Williams, H., & Ortuzar, J. d. (1982a). Behavioural theories of dispersion and the mis-specification of travel demands models. *Transportation research*, 167 -219.
- Winston, C., 1981. A disaggregate model of the demand for intercity freight transportation. *Econometrica* 49 (4), 981–1006.
- Winston, C. (1983). The demand for freight transportation: models and applications. *Transportation Research Part A: General*, 17(6), 419-427.
- Wynter, L. M. (1995). Stated preference survey for calculating values of time of road freight transport in France. *Transportation Research record*, (1477), 1-6.
- Yong-Sheng, Z., En-Jian, Y., & Sha-Sha, L. (2015). A Semi-compensatory Route Choice Model Incorporating the Effects of OD Scales for Metro Passengers. En revision.
- Zamparini, L., & Reggiani, A. (2007). Freight Transport and the Value of Travel Time Savings: A Meta-analysis of Empirical Studies. *Transport Reviews*, 27(5), 621-636.

Zamparini, L., Layaa, J., & Dullaert, W. (2011). Monetary values of freight transport quality attributes: A sample of Tanzanian firms. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1222-1234.



11. Anexos

11.1. Anexo 1. tarjeta para Autos

| | | | | |
|---|--|---|--|--------------------------------|
| Ruta Nueva: Vía Medellín-Cisneros-Puerto Berrio-Cimitarra-Barbosa-Bogotá | | Ruta Actual: Vía Medellín-Rionegro-La Dorada-Bogotá, utilizando autopista Medellín - Bogotá | | |
|  | | VS |  | |
| TARJETA PARA AUTOS | | | | |
| Escenario | DIFERENCIA DE LA RUTA NUEVA CON RESPECTO A LA ACTUAL | | ¿QUÉ RUTA USARÍA? | |
| | TIEMPO ADICIONAL DE VIAJE EN MINUTOS | AHORRO EN COSTOS DE PEAJES | USARIA LA NUEVA RUTA | SEGUIRÍA USANDO LA RUTA ACTUAL |
| 1 | 20 más | \$ 4.000 menos | | |
| 2 | 40 más | \$ 4.000 menos | | |
| 3 | 60 más | \$ 4.000 menos | | |
| 4 | 20 más | \$ 6.000 menos | | |
| 5 | 40 más | \$ 6.000 menos | | |
| 6 | 60 más | \$ 6.000 menos | | |
| 7 | 20 más | \$ 8.000 menos | | |
| 8 | 40 más | \$ 8.000 menos | | |
| 9 | 60 más | \$ 8.000 menos | | |



Por, E. Cabas, 2017

11.2. Anexo 2. tarjeta para camiones C2 – C4

| Ruta Nueva: Vía Medellín-Cisneros-Puerto Berrio-Cimitarra-Barbosa-Bogotá | | Ruta Actual: Vía Medellín-Rionegro-La Dorada-Bogotá, utilizando autopista Medellín - Bogotá | | |
|---|--|---|--|--------------------------------|
|  | | VS |  | |
| TARJETA PARA C2 - C4 | | | | |
| Escenario | DIFERENCIA DE LA RUTA NUEVA CON RESPECTO A LA ACTUAL | | ¿QUÉ RUTA USARÍA? | |
| | TIEMPO ADICIONAL DE VIAJE EN MINUTOS | AHORRO EN COSTOS DE PEAJES | USARÍA LA NUEVA RUTA | SEGUIRÍA USANDO LA RUTA ACTUAL |
| 1 | 20 más | \$ 10.000 menos | | |
| 2 | 40 más | \$ 10.000 menos | | |
| 3 | 60 más | \$ 10.000 menos | | |
| 4 | 20 más | \$ 13.000 menos | | |
| 5 | 40 más | \$ 13.000 menos | | |
| 6 | 60 más | \$ 13.000 menos | | |
| 7 | 20 más | \$ 16.000 menos | | |
| 8 | 40 más | \$ 16.000 menos | | |
| 9 | 60 más | \$ 16.000 menos | | |

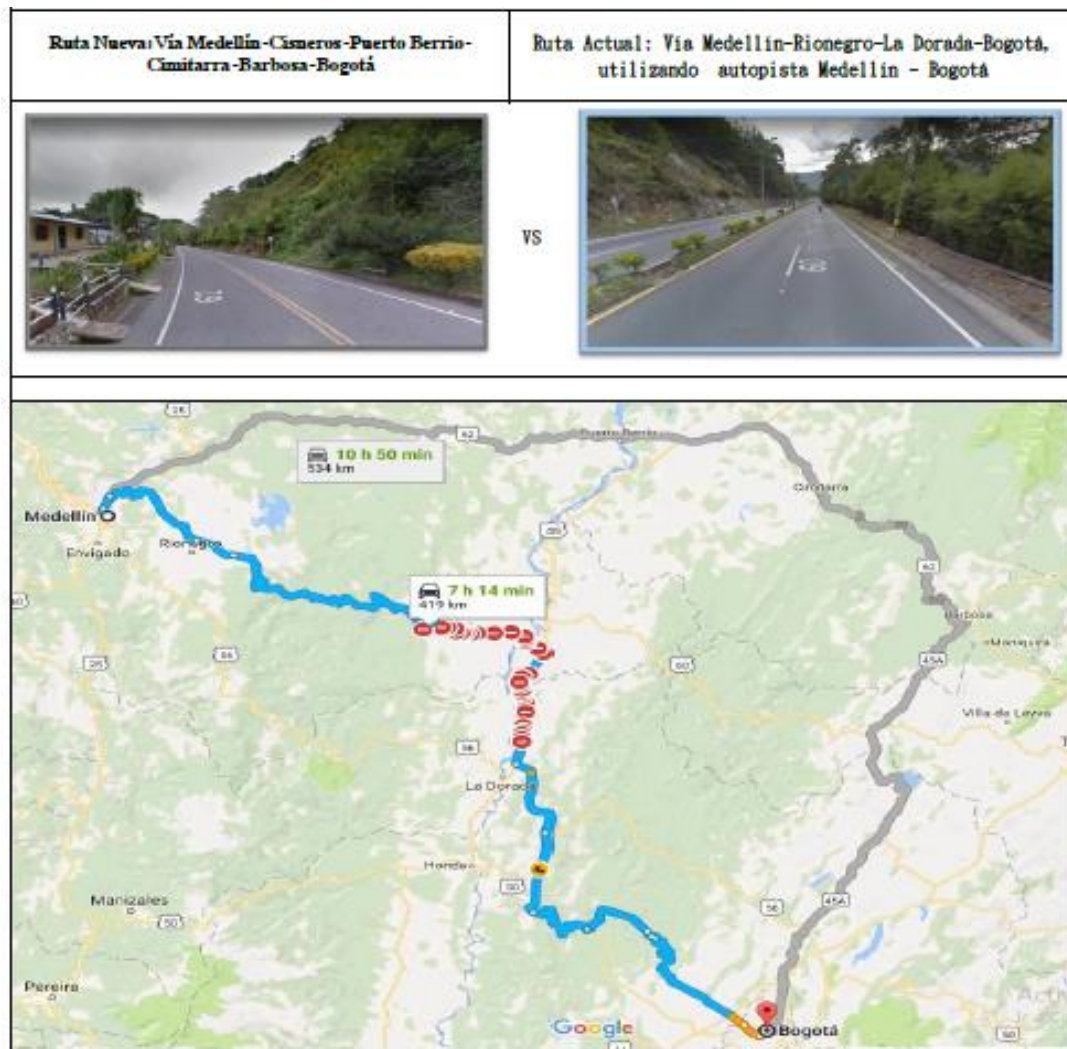
Por, E. Cabas, 2017

11.3. Anexo 3. tarjeta Para camiones tipo C5 – C6

| Ruta Nueva: Vía Medellín-Cisneros-Puerto Berrio-Cimitarra-Barbosa-Bogotá | | Ruta Actual: Vía Medellín-Rionegro-La Dorada-Bogotá, utilizando autopista Medellín - Bogotá | | |
|---|--|---|--|--------------------------------|
|  | | VS |  | |
| TARJETA PARA C5 - C6 | | | | |
| Escenario | DIFERENCIA DE LA RUTA NUEVA CON RESPECTO A LA ACTUAL | | ¿QUE RUTA USARIA? | |
| | TIEMPO ADICIONAL DE VIAJE EN MINUTOS | AHORRO EN COSTOS DE PEAJES | USARIA LA NUEVA RUTA | SEGUIRÍA USANDO LA RUTA ACTUAL |
| 1 | 20 más | \$ 15.000 menos | | |
| 2 | 40 más | \$ 15.000 menos | | |
| 3 | 60 más | \$ 15.000 menos | | |
| 4 | 20 más | \$ 20.000 menos | | |
| 5 | 40 más | \$ 20.000 menos | | |
| 6 | 60 más | \$ 20.000 menos | | |
| 7 | 20 más | \$ 25.000 menos | | |
| 8 | 40 más | \$ 25.000 menos | | |
| 9 | 60 más | \$ 25.000 menos | | |

Por, E. Cabas, 2017

11.4. Anexo 4. mapa comparación vía actual vs vía propuesta



Por, E. Cabas, 2017.